

**Etude de milieu en vue d'une demande de dérogation
portant sur la mobilité et la phytodisponibilité des éléments traces métalliques
et relative à l'utilisation d'eaux usées traitées pour l'irrigation d'espaces verts
sur la commune du Port**

Etude réalisée par :

Matthieu N. Bravin¹, Claire Chevassus-Rosset², Laure Lemal³, Mélanie Montes², Géraud Moussard¹, Elisabeth Simon¹, Marie Tella⁴, Marine Valmier³, Emmanuel Doelsch², Frédéric Feder⁵ et Samuel Legros⁵

¹ CIRAD, UPR Recyclage et risque, F-97408 Saint-Denis, Réunion, France

² CIRAD, UPR Recyclage et risque, F-34398 Montpellier, France

³ MetRHIZlab, F-34830 Clapiers, France

⁴ CIRAD, US Analyses, F-34398 Montpellier, France

⁵ CIRAD, UPR Recyclage et risque, Laboratoire Mixte International IE SOL, 18524 Dakar, Sénégal

Personne à contacter : Matthieu Bravin, matthieu.bravin@cirad.fr, tél. 02 62 52 80 30, secr. – 80 20, fax. – 80 21

Avant-propos : Cette note synthétise le travail mené entre juin 2016 et juin 2017 par le Cirad en concertation avec les commanditaires de l'étude (la commune du Port) et les autres membres du comité de pilotage (BRL, ARS-OI et Deal). Cette note reprend les résultats présentés et les décisions prises d'un commun accord entre les membres du comité de pilotage lors des comités de pilotage du 10 juin 2016, du 15 décembre 2016 et du 23 juin 2017.

1. Introduction

Une étude du BRGM (Balon et al. 2014) a permis de rendre compte du niveau élevé des teneurs en plomb (Pb) et en zinc (Zn) dans les sols de la commune du Port, dont l'origine est très vraisemblablement anthropique (i.e. contamination). Au regard de l'arrêté du 8 janvier 1998 relatif à l'épandage des boues d'épuration et repris dans l'arrêté du 2 août 2010 relatif à la réutilisation d'eaux usées traitées (Reut), cette contamination en Pb et Zn des sols de la commune du Port empêche en l'état l'irrigation des espaces verts, freinant ainsi le développement d'une démarche de recyclage et d'économie de la ressource en eau entreprise par la commune.

Cependant, la publication de l'instruction ministérielle du 26 avril 2016 relative à l'arrêté du 2 août 2010 a rendu possible l'instruction de dérogation pour la Reut sur les sols présentant des teneurs en éléments traces métalliques (ETM) supérieures aux seuils fixés par l'arrêté du 8 janvier 1998, y compris lorsque ces teneurs élevées sont d'origine anthropique.

La Deal, l'ARS, le BRL et la Mairie du Port ont donc confié au Cirad la réalisation d'une étude de milieu ayant pour objectif de vérifier si la mobilité et la phytodisponibilité des ETM (en particulier de Pb et Zn) dans les sols des espaces verts en place ou à venir sur la commune du Port présentant des teneurs supérieures aux seuils fixés par l'arrêté du 8 janvier 1998 étaient suffisamment faibles pour soutenir une demande de dérogation au sens de l'instruction ministérielle du 26 avril 2016. Cette étude de milieu s'est appuyée sur le cadre méthodologique proposé par l'Ademe (Ademe et APCA, 2005 ; cf. fig. 1) et qui avait déjà été suivi pour l'obtention de dérogation à l'épandage des boues d'épuration et à la Reut dans les sols de La Réunion présentant des teneurs naturelles élevées en chrome (Cr), en cuivre (Cu) et en nickel (Ni) (Collin et Doelsch, 2008 ; Bravin et al., 2015).

Si teneurs ETM > valeurs seuils et pH > 5 :

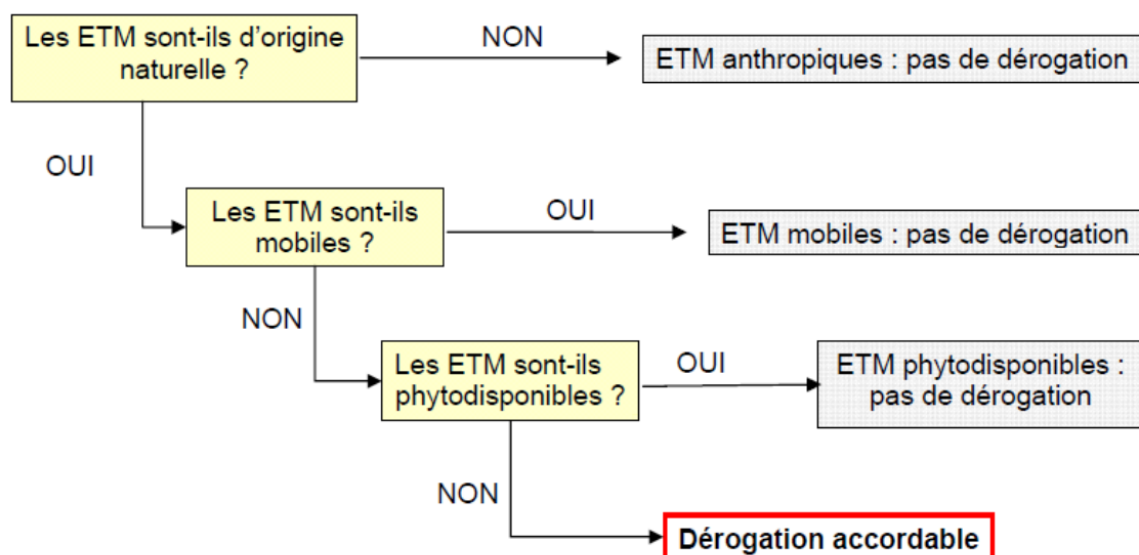


Fig. 1. Logigramme décrivant les étapes successives d'une étude de milieu ayant pour objectif de démontrer la faible mobilité et phytodisponibilité des éléments traces métalliques (ETM) afin de soutenir une demande de dérogation aux seuils fixés dans l'arrêté du 8 janvier 1998. A noter que l'instruction ministérielle du 26 avril 2016 permet aujourd'hui d'envisager une demande de dérogation y compris lorsque les teneurs élevées en ETM sont d'origine anthropique.

2. Phase 1 : Evaluation de la mobilité et de la phytodisponibilité par extractions chimiques

Méthodologie

A partir des études antérieures du BRGM (Balon et al. 2014) et du bureau d'étude Antea Group (2016), 15 sites de prélèvements correspondant à des espaces verts actuellement irrigués ou qui le seront potentiellement ont été sélectionnés pour la présente étude (cf. Fig. 2). Chaque site de prélèvement a été retrouvé sur le terrain à partir des coordonnées GPS avec une précision inférieure à 100 cm². Conformément aux études du BRGM (Balon et al. 2014) et d'Antea Group (2016), le sol a été prélevé sur chaque site sur 5 cm de profondeur en 5 points correspondant au point de coordonnées GPS ainsi qu'à 4 points distants de 1 m par rapport au point de coordonnées GPS et formant un carré autour de ce dernier. Un échantillon de sol composite (ci-après dénommé sol) a ainsi été constitué sur chaque site.

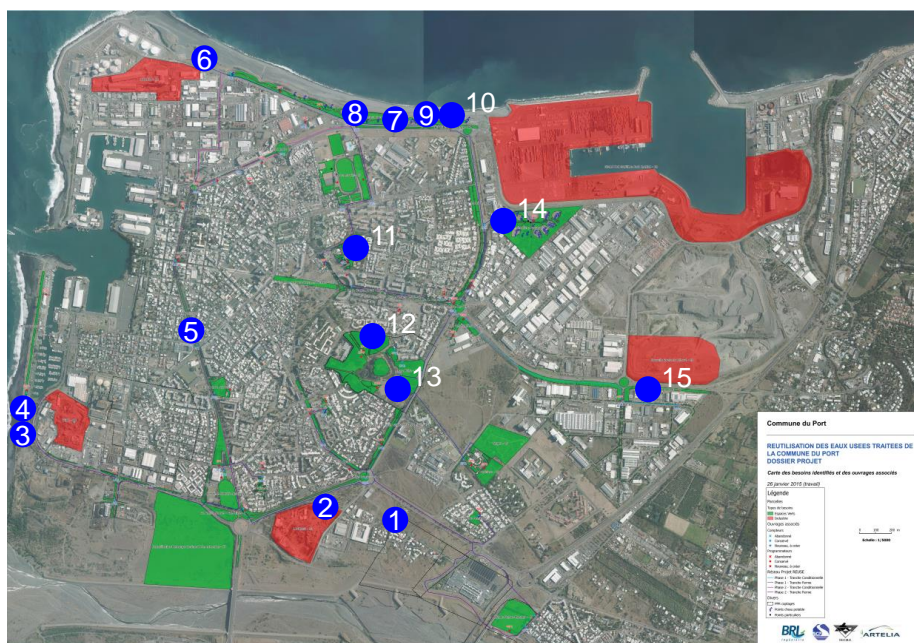


Fig. 2. Localisation des 15 sites de prélèvements

La granulométrie, le pH, le calcaire total, la capacité d'échange cationique (CEC), le carbone organique, l'azote total, le phosphore disponible par la méthode Olsen et la teneur total en ETM (i.e. cadmium – Cd –, Cr, Cu, Ni, Pb et Zn) ont été déterminés par le laboratoire d'analyses en routine des sols, des eaux et des plantes du Cirad (US Analyses). La mobilité et la phytodisponibilité des ETM ont été respectivement estimées à l'aide d'extractions chimiques au CaCl_2 10^{-3}M et au NH_4NO_3 1 M (Ademe et APCA, 2005). Chaque extraction a été réalisée 3 fois sur chaque sol. Les concentrations en ETM dans les extraits ont été déterminées par analyses en spectrométrie de masse à plasma induit (ICP-MS, Hydrosiences Montpellier).

Résultats et discussion

Si près de 70% des sols de La Réunion présentent généralement des pH inférieurs à 6, les 15 sols échantillonnés dans la présente étude présentent tous des pH supérieurs à 6 compris entre 6,3 et 8,4. La plupart des autres propriétés physico-chimiques sont très variables d'un sol à l'autre avec une

teneur en argiles granulométriques variant de 50 à 410 g kg⁻¹, une teneur en carbone organique variant de 6 à 55,9 g kg⁻¹ et une CEC variant de 4 à 37 cmol₊ kg⁻¹.

Tab. 1. Nombre et pourcentage de dépassement des seuils de teneurs totales en ETM de l'arrêté du 8 janvier 1998 relatif à l'épandage des boues d'épuration dans les 15 sols échantillonnés

Teneur totale, mg kg ⁻¹	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
seuils arrêté Boues 08/01/1998	2	150	100	50	100	300
nombre valeurs > seuil	0	11	0	15	8	3
% valeurs > seuil	0%	73%	0%	100%	53%	20%

Les gammes de teneurs totales en ETM obtenues pour les 15 sols échantillonnés se sont avérées conformes à celles obtenues dans les précédentes études du BRGM (Balon et al. 2014) et d'Antea Group (2016). Ces gammes de teneurs totales en ETM semblent soutenir une origine naturelle pour Cr, Cu et Ni et, en revanche, une origine anthropique pour Pb et Zn. Comme cela était attendu, 8 sols sur les 15 échantillons ont présenté des teneurs totales en Pb supérieures au seuil de l'arrêté du 8 janvier 1998 (cf. Tab. 1). Les teneurs totales en Cr, Ni et Zn ont respectivement dépassé les seuils de l'arrêté du 8 janvier 1998 pour 11, 15 et 3 sols sur les 15 échantillonnés. Les teneurs totales en Cd, et Cu n'ont en revanche dépassé les seuils de l'arrêté du 8 janvier 1998 pour aucun des 15 sols échantillonnés. **Ainsi, aux vues des dépassements des seuils de l'arrêté du 8 janvier 1998, la nécessité d'une dérogation au sens de l'instruction ministérielle du 26 avril 2016 ne concerne que Cr, Ni, Pb et Zn dans les 15 sols échantillonnés.**

Tab. 2. Nombre de dépassement des seuils de mobilité des ETM du guide Ademe-APCA (2005) dans les 15 sols échantillonnés

CaCl ₂ , µg l ⁻¹	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
Seuils guide Ademe 2005	2	20	20	45	1	4
nombre éch. > seuil	1	0	3	1	0	1
N° échantillon	4	-	3, 4, (9)	4	-	4

Les seuils de mobilité proposés dans le guide Ademe-APCA (2005) ont été dépassés dans le sol 4 pour Cr, Cu, Pb et Zn, ainsi que dans le sol 3 et une des 3 répétitions du sol 9 (valeur moyenne pour le sol 9 inférieure au seuil en revanche) pour Cu (cf. Tab. 2). **Comme les 15 sols échantillonnés pour Cu et le sol 4 pour Cr ne dépassent pas les seuils de l'arrêté du 8 janvier 1998, seul le sol 4 peut être à ce stade exclu du champ de la dérogation du fait d'une mobilité de Pb et Zn pouvant être**

jugée trop importante. Les teneurs totales en Pb et Zn ont respectivement déterminé 60 et 75 % de la variabilité des concentrations en Pb et Zn dans les extraits CaCl_2 . **Un seuil dérogatoire pour les sols dont les teneurs totales en Pb et Zn dépassent le seuil de l'arrêté du 8 janvier 1998 mais qui présentent une mobilité faible au sens du guide Ademe-APCA (2005) pourrait donc être fixé à partir de teneurs totales mesurées en Pb et Zn directement inférieures à celles du sol 4, soit respectivement à 495 et 345 mg kg^{-1} pour Pb et Zn.**

Tab. 3. Nombre de dépassement des seuils de phytodisponibilité des ETM du guide Ademe-APCA (2005) dans les 15 sols échantillonnés

NH_4NO_3 , mg kg^{-1}	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
Seuils guide Ademe 2005	-	1,5	1,0	2,0	0,04	0,1
nombre éch. > seuil	0	0	0	0	0	0
N° échantillon	-	-	-	-	-	-

Les seuils de phytodisponibilité proposés dans le guide Ademe-APCA (2005) n'ont été dépassés dans aucun des 15 échantillons de sol (cf. Tab. 3). **Aucun des 15 sols échantillonnés ne peut donc être exclu du champ de la dérogation sur le critère de phytodisponibilité estimée par extraction chimique.**

3. Phase 2 : Evaluation de la phytodisponibilité par des mesures sur les plantes

Méthodologie

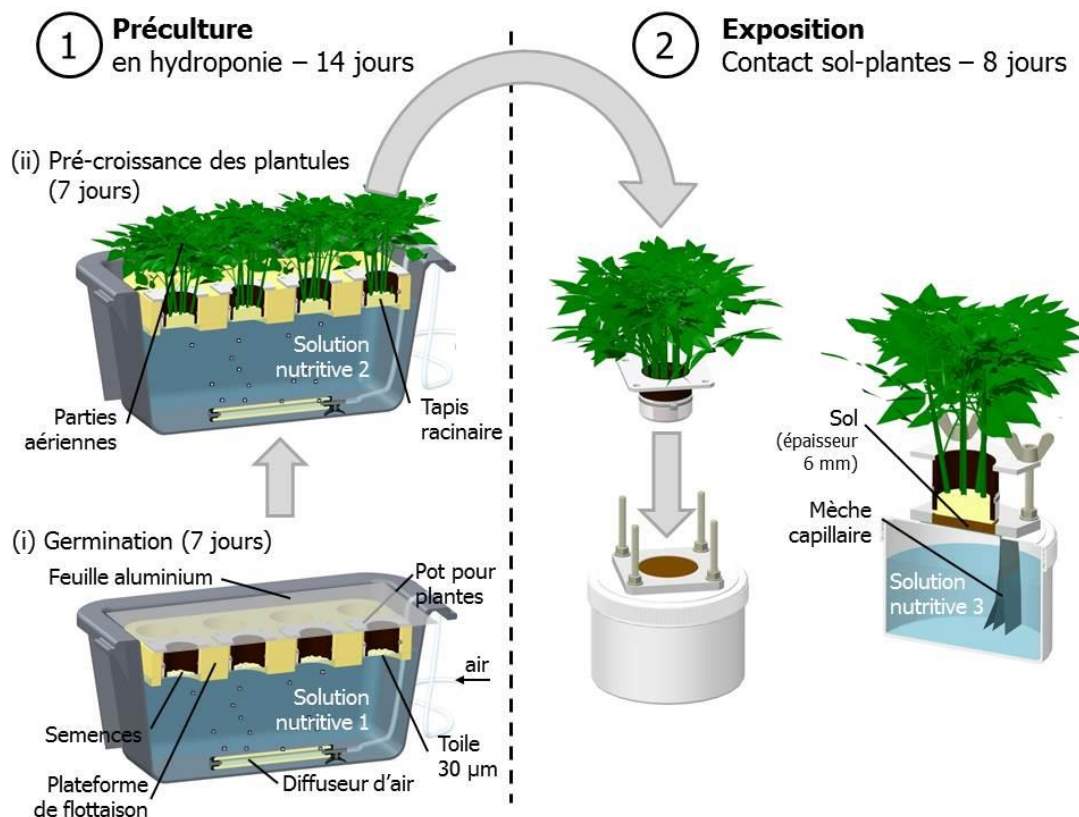


Fig. 3. Procédure expérimentale normalisée de culture en RHIZOtest (NF EN ISO 16198) pour la mesure de la phytodisponibilité des ETM

Comme cela est requis dans le guide Ademe-APCA (2005), la phytodisponibilité a aussi été mesurée sur des plantes. **Suite à la normalisation en 2015 d'un biotest de laboratoire dédié à la mesure de la phytodisponibilité des ETM (NF EN ISO 16198), ce biotest (ci-après dénommé RHIZOtest) a été utilisé comme premier et principal critère d'évaluation de la phytodisponibilité des ETM dans la présente étude car il permet une comparaison rigoureuse de la phytodisponibilité entre des sols prélevés sur des sites différents** (cf. Fig. 3). Le RHIZOtest a été mis en œuvre sur 10 des 15 sols échantillonnés dans la phase 1. Sur ces 10 sols, les sols 1, 11 et 13 présentaient des teneurs totales en Pb (3, 37 et 85 mg kg⁻¹, respectivement) inférieures au seuil de l'arrêté du 8 janvier 1998 et ont donc constitué les références « basses ». Le sol 4 présentait la plus forte teneur en Pb (561 mg kg⁻¹, respectivement) et a donc constitué la référence « haute ». Les sols 3, 5, 8, 9, 12 et 15 présentant des teneurs totales en Pb comprises entre le seuil de l'arrêté du 8 janvier 1998 et celle du sol 4 ont donc constitué les sols « à tester », avec une attention plus particulière sur les sols 3 et 9 qui ont présenté des dépassements sur le critère de mobilité en phase 1 et qui sont donc « à surveiller » dans la phase 2. Les 10 sols ont été exposés à la fétuque (*Festuca arundinacea* cv. calina). Bien que la fétuque ne soit pas présente sur les 15 sites échantillonnées, elle a été choisie car il s'agit d'une des trois espèces cibles recommandées dans le cadre de l'application de la norme NF EN ISO 16198 en raison de sa capacité à maximiser la phytodisponibilité des ETM et parce qu'elle appartient à la

famille des graminées comme la très large majorité des espèces présentes sur les 15 sites échantillonnés. Des tests préliminaires de germination en RHIZOtest du *Cynodon dactylon*, seule espèce semée sur les espaces verts de la commune, ont été réalisés mais n'ont pas abouti.

A l'issue de l'expérimentation en RHIZOtest, les biomasses et les teneurs en ETM dans les plantes témoins issues de l'étape de préculture ainsi que dans les plantes exposées aux 10 sols ont été déterminées par minéralisation à l'acide fluorhydrique et dosage en ICP-MS. Conformément à la préconisation de la norme NF EN ISO 16198, l'indicateur de phytodisponibilité choisi a été le flux de prélèvement de chaque ETM dans la plante entière lors de l'étape d'exposition au sol. Ce flux a été déterminé par différence entre la masse d'ETM accumulée dans les plantes à l'issue de l'étape d'exposition et la masse d'ETM accumulée dans les plantes témoins à l'issue de l'étape de préculture et exprimé par rapport au temps d'exposition (8 jours) et à la surface d'exposition des racines des plantes au sol (12,6 cm²). La mesure de phytodisponibilité en RHIZOtest a été réalisée 5 fois sur chacun des 10 sols.

Lors de l'échantillonnage des sols, les parties aériennes ont également été prélevées sur 14 des 15 sites (le site 13 ne présentant pas de végétation lors du prélèvement). Chacun des 14 échantillons a été subdivisé en 1 sous-échantillon brut et 1 sous-échantillon nettoyé par trois trempages successifs dans de l'eau ultra-pure. Les teneurs en ETM ont été mesurées dans chacun des 28 échantillons par minéralisation à l'acide fluorhydrique et dosage en ICP-MS. **Du fait de l'hétérogénéité spécifique et phénologique des espèces végétales présentes et de la diversité des modes de gestion des 14 sites échantillonnés, les mesures de teneurs en ETM dans les parties aériennes nettoyées n'ont été considérées que comme un critère secondaire de phytodisponibilité et ont principalement été utilisées pour comparer les teneurs en Pb avec les limites autorisées dans les plantes destinées à l'alimentation humaine.** La comparaison des teneurs en ETM entre les parties aériennes brutes et nettoyées a permis d'évaluer le niveau de contamination des parties aériennes par des particules de sol et ainsi d'estimer l'éventuelle contribution des particules de sol à la contamination des déchets verts contenant les tontes d'espaces verts. La mesure de phytodisponibilité sur les parties aériennes brutes et nettoyées des plantes échantillonnées in situ a été réalisée une seule fois sur chacun des 14 sites.

Résultats et discussion

La phytodisponibilité de Cr et Ni mesurée en RHIZOtest s'est avérée être significativement plus élevée dans le sol 5 que dans tous les autres sols et en particulier que dans les références basses (cf. Fig. 4). Ce sol 5 se caractérise par les plus fortes teneurs en Cr (330 mg kg⁻¹), en argiles granulométriques (409 g kg⁻¹) et en carbone organique (55,9 g kg⁻¹) et se distingue donc franchement par ses propriétés physico-chimiques des 14 autres sols échantillonnés. Ce sol a été vraisemblablement constitué par apport de terre extérieure à la commune sans que l'origine géographique de la terre ne puisse être précisément déterminée. **Le sol 5 pourrait donc être exclu du champ de la dérogation du fait d'une phytodisponibilité de Cr et Ni pouvant être jugée plus importante que dans les autres échantillons.**

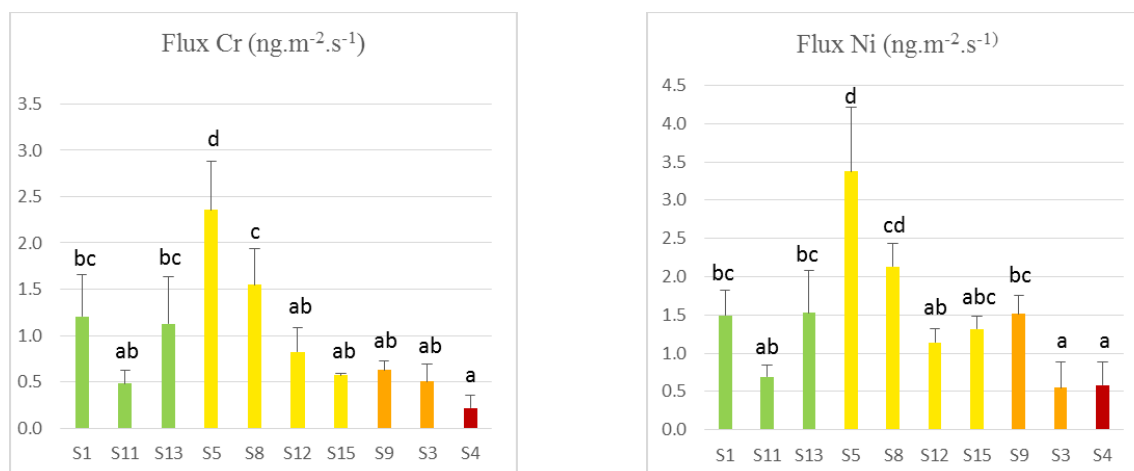


Fig. 4. Phytodisponibilité de Cr (à gauche) et de Ni (à droite) mesurée en RHIZOtest dans 10 sols. Les sols S1, S11 et S13 sont les références basses. Les sols S5, S8, S12 et S15 sont les sols à tester. Les sols S9 et S3 sont les sols à surveiller. Le sol S4 est la référence haute (cf. *Méthodologie* pour plus de précision). Des lettres différentes indiquent des différences statistiquement significatives ($p \leq 0,05$).

La phytodisponibilité de Pb et Zn mesurée en RHIZOtest s'est avérée être significativement plus élevée dans le sol 15 que dans tous les autres sols et en particulier que dans les références basses (cf. Fig. 5). La même observation a pu être faite pour la phytodisponibilité de Cd et Cu, qui sont connus pour être des éléments présentant des comportements dans le sol respectivement proche de Zn et Pb (cf. Fig. 6). Ce sol 15 se caractérise par la deuxième plus forte teneur en carbone organique (50,1 g kg⁻¹). Ce sol a été vraisemblablement constitué par un apport massif de déchets verts au sol d'origine lors de la mise en place de l'espace vert correspondant. **Le sol 15 pourrait donc être exclu du champ de la dérogation du fait d'une phytodisponibilité de Pb et Zn pouvant être jugée plus importante que dans les autres échantillons.**

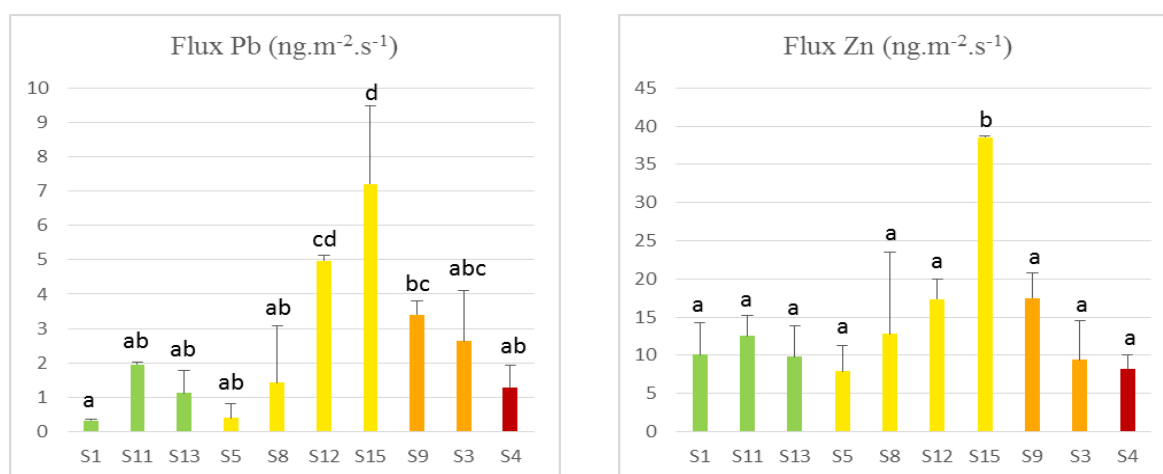


Fig. 5. Phytodisponibilité de Pb (à gauche) et de Zn (à droite) mesurée en RHIZOtest dans 10 sols. Les sols S1, S11 et S13 sont les références basses. Les sols S5, S8, S12 et S15 sont les sols à tester. Les sols S9 et S3 sont les sols à surveiller. Le sol S4 est la référence haute (cf. *Méthodologie* pour plus de précision). Des lettres différentes indiquent des différences statistiquement significatives ($p \leq 0,05$).

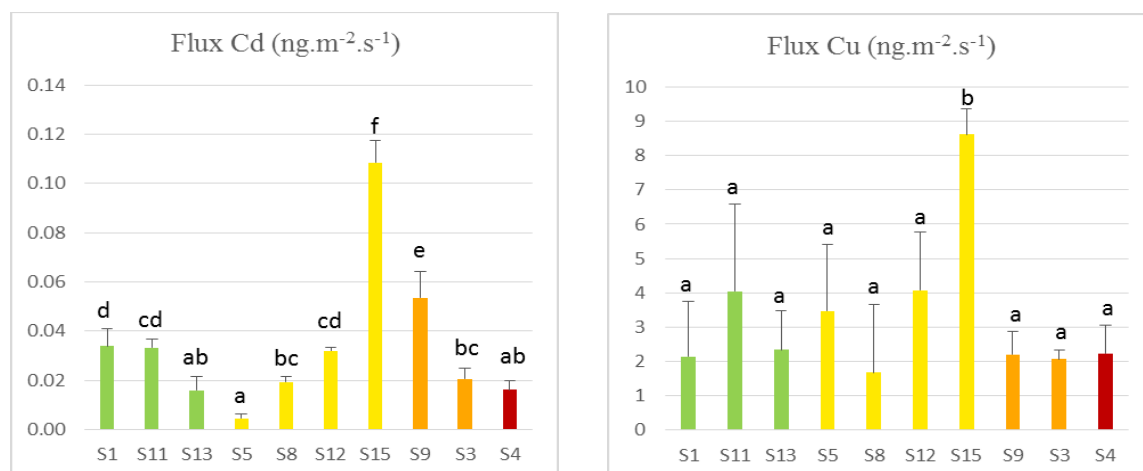


Fig. 6. Phytodisponibilité de Cd (à gauche) et de Cu (à droite) mesurée en RHIZOtest dans 10 sols. Les sols S1, S11 et S13 sont les références basses. Les sols S5, S8, S12 et S15 sont les sols à tester. Les sols S9 et S3 sont les sols à surveiller. Le sol S4 est la référence haute (cf. *Méthodologie* pour plus de précision). Des lettres différentes indiquent des différences statistiquement significatives ($p \leq 0,05$).

La comparaison des mesures de phytodisponibilité en RHIZOtest sur les 10 sols échantillonnés avec les mesures de phytodisponibilité effectuées lors de la normalisation du RHIZOtest sur 4 sols métropolitains et contaminés a montré que **la phytodisponibilité de Cd, Cu, Pb et Zn était globalement faible à modérée dans l'ensemble des 10 sols échantillonnés** (cf. Fig. 7).

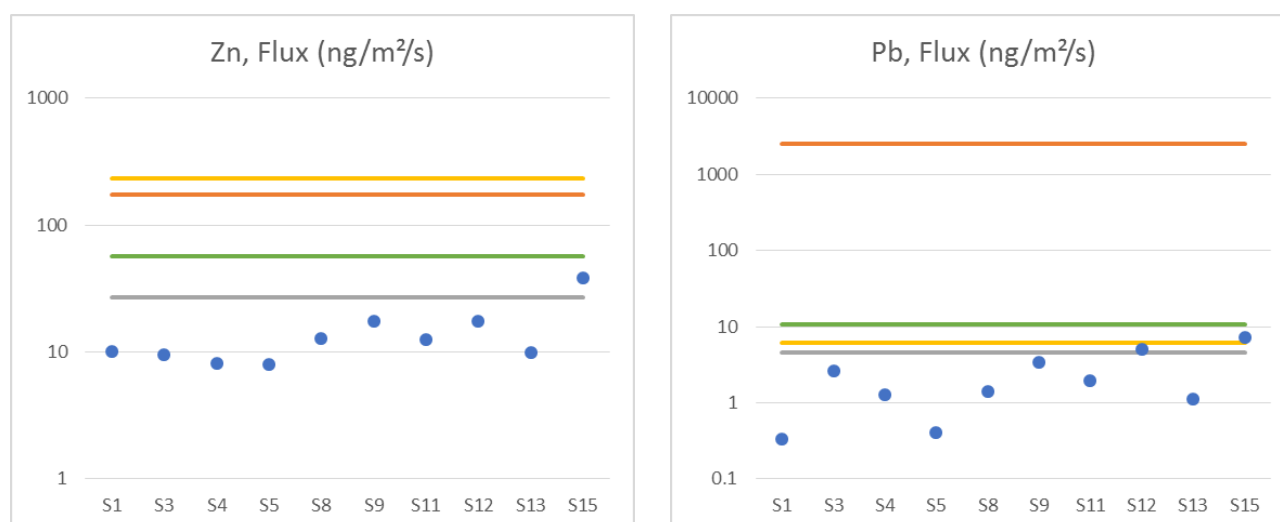


Fig. 7. Comparaison de la phytodisponibilité de Zn (à gauche) et de Pb (à droite) mesurée en RHIZOtest dans les 10 sols de la présente étude (points bleus) avec la phytodisponibilité de 4 sols contaminés étudiés lors de la validation du RHIZOtest pour la normalisation (NF EN ISO 16198). Ces 4 sols présentaient des teneurs totales respectives en Zn et Pb de 432 et 163 mg kg⁻¹ (ligne verte), de 74 et 215 mg kg⁻¹ (ligne grise), de 429 et 590 mg kg⁻¹ (ligne jaune) et 1 172 et 131 340 mg kg⁻¹ (ligne orange).

La phytodisponibilité des ETM mesurée en RHIZOtest n'a pas pu être corrélée à la phytodisponibilité des ETM mesurée sur les parties aériennes des plantes prélevées in situ (résultats non présentés). Parmi les parties aériennes nettoyées des plantes prélevées in situ présentant des teneurs en Pb suffisamment élevées pour être distinguées du bruit de fond analytique (cf. Fig. 8), seul l'échantillon provenant du site 4 a présenté une teneur légèrement supérieure à la teneur admissible dans les

légumes (Journal Officiel CE, EC No 466/2001). L'ensemble des teneurs en Pb mesurées se sont également avérées être soit inférieures, soit du même ordre de grandeur que les teneurs moyennes mesurées dans les légumes en France (Anses, 2011). Enfin, les teneurs en Pb mesurées dans les parties aériennes brutes n'ont pas été systématiquement plus élevées que celles mesurées dans les parties aériennes nettoyées. **Etant donné que les plantes présentent sur les espaces verts ne sont destinées ni à l'alimentation humaine, ni à l'alimentation du bétail, les teneurs en Pb mesurées dans les plantes échantillonnées in situ ne semblent donc pas présenter de risque sanitaire. De même, les teneurs maximales en Pb mesurées dans les parties aériennes brutes ne sont pas suffisantes pour contaminer les déchets verts dans la composition desquels les parties aériennes brutes pourraient rentrer.**

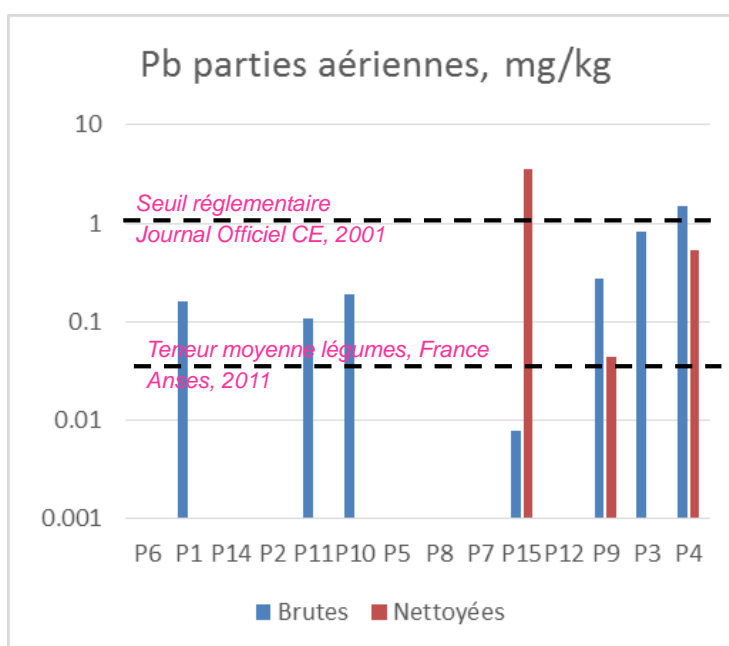


Fig. 8. Teneurs totales en Pb mesurées dans les parties aériennes des plantes échantillonnées sur 14 des 15 sites étudiés. Les parties aériennes brutes et nettoyées sont respectivement représentées par des histogrammes bleus et rouge (cf. *Méthodologie* pour plus de précision). La teneur moyenne en Pb dans les légumes en France (Anses, 2011) et la teneur limite autorisée dans les légumes dans l'Union Européenne (Journal Officiel CE, EC No 466/2001) sont représentées par des lignes tiretées.

4. Conclusion et proposition d'un cadre dérogatoire

Etant donné les résultats obtenus lors des phases 1 et 2 de la présente étude de milieu, il s'avère qu'une demande de dérogation peut être demandée pour l'ensemble des sols présentant des teneurs totales en Cr, Ni, Pb et Zn supérieures aux seuils de l'arrêté du 8 janvier 1998 mais inférieures à 495 et 345 mg kg⁻¹ pour Pb et Zn, respectivement. Une dérogation peut donc être demandée sans restriction de teneur totale pour Cr et Ni.

Les zones géographiques correspondant aux sols 5 et 15 présentant une phytodisponibilité plus élevées de Cr et Ni pour la première zone et de Pb et Zn pour la seconde zone semblent pouvoir ne pas être exclues a priori du champ de la dérogation aux motifs suivants :

- la phytodisponibilité de Pb et Zn mesurée en RHIZOtest dans les 10 sols échantillonnés s'est avérée faible à modérée par rapport à la phytodisponibilité mesurée dans 4 sols contaminés de référence utilisés pour la normalisation du RHIZOtest ;
- étant donné que les plantes présentes sur les espaces verts ne sont destinées ni à l'alimentation humaine, ni à l'alimentation du bétail, les teneurs en Pb mesurées dans les plantes échantillonnées in situ ne semblent donc pas présenter de risque sanitaire ;
- pour les mêmes raisons, la phytodisponibilité de Cr et Ni ne semblent pas non plus présenter de risque sanitaire ;
- les teneurs maximales en Pb mesurées dans les parties aériennes brutes ne sont pas suffisantes pour contaminer les déchets dans la composition desquels elles pourraient rentrer.

Dans le cadre du suivi des espaces verts irrigués par Reut tel que prévu par l'arrêté du 2 août 2010, une attention plus particulière pourra être portée à la caractérisation plus précise des zones géographiques correspondant aux sols 5 et 15.

5. Documents bibliographiques de référence

- Anses. 2011. Étude de l'alimentation totale française 2 (EAT 2) – Tome 1 : Contaminants inorganiques, minéraux, polluants organiques persistants, mycotoxines, phyto-estrogènes. Avis de l'Anses, Rapport d'expertise, 305 p.
- Antea Group. 2016. Campagne de prélèvements complémentaires sur la Ville du Port suite aux résultats du relevé de Fond Géochimique Urbain effectué sur le Territoire de la Côte Ouest : Résultats des caractérisations. 82821/B, 45 p. + annexes.
- Arrêté du 8 janvier 1998 fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles pris en application du décret n° 97-1133 du 8 décembre 1997 relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées. NOR : ATEE9760538A.
- Arrêté du 2 août 2010 relatif à l'utilisation d'eaux issues du traitement d'épuration des eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation de cultures ou d'espaces verts. Version consolidée du 11 août 2014.
- ADEME et APCA. 2005. Dérogations relatives à la réglementation sur l'épandage des boues de stations d'épuration. Comment formuler une demande pour les sols à teneurs naturelles élevées en éléments traces métalliques ? Guide technique. J. Béraud et A. Bispo (Coordinateurs). D. Baize, T. Sterckeman, A. Piquet, H. Ciesielski, J. Béraud et A. Bispo (Auteurs).
- P. Balon, G. Thirard, B. Aunay et V. Petit. 2014. Détermination du fond pédogéochimique des éléments trace métalliques (ETM) sur le Territoire de la Côte Ouest (TCO) de l'île de La Réunion. Rapport final, BRGM/RP-63730-FR, 107 p.
- M. N. Bravin, E. Doelsch et F. Feder. 2015. Mobilité et phytodisponibilité des éléments traces métalliques dans les sols de La Réunion : Rapport de synthèse en vue d'une demande de dérogation sur le critère « éléments traces métalliques » relativement à l'utilisation d'eaux usées épurées pour l'irrigation de cultures ou d'espaces verts à La Réunion. Cirad, Office de l'eau Réunion, Deal Réunion, Daaf Réunion, ARS Océan Indien, 35 p.
- B. Collin et E. Doelsch. 2008. Evaluation de la mobilité et de la phytodisponibilité des éléments traces métalliques des sols – Etude réalisée sur les sols de la Communauté Intercommunale Réunion Est (CIREST), en perspective d'une demande de dérogation à la réglementation sur l'épandage des boues de stations d'épuration. Office de l'Eau Réunion, DAAF Réunion et Cirad, 60 p.
- COMMISSION REGULATION (EC) No 466/2001. Setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. Official Journal of the European Communities, 13 p.
- Instruction interministérielle N° DGS/EA4/DEB/DGPE/2016/135 du 26 avril 2016 relative à la réutilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation de cultures ou d'espaces verts, 16 p.
- NF EN ISO 16198. 2015. Qualité du sol – Test végétal pour l'évaluation de la biodisponibilité environnementale des éléments traces pour les végétaux.
- Relevé de décision de la réunion du 10 juin 2016. Cadrage relatif à l'étude de milieu devant soutenir une demande de dérogation pour la réutilisation des eaux usées traitées sur les sols contaminés en plomb sur la commune du Port. Deal, ARS, BRL, Mairie du Port, Cirad, 3 p.